



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

**ÚSTAV MECHANIKY TĚLES, MECHATRONIKY A
BIOMECHANIKY**

INSTITUTE OF SOLID MECHANICS, MECHATRONICS AND BIOMECHANICS

NÁVRH ŘÍDICÍ ELEKTRONIKY AIRSOFTOVÉ ZBRANĚ

DESIGN OF AIRSOFT GUN CONTROL ELECTRONICS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Jiří Šindelář

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Michal Bastl

BRNO 2020

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav mechaniky těles, mechatroniky a biomechaniky
Student: **Jiří Šindelář**
Studijní program: Aplikované vědy v inženýrství
Studijní obor: Mechatronika
Vedoucí práce: **Ing. Michal Bastl**
Akademický rok: 2019/20

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Návrh řídicí elektroniky airsoftové zbraně

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Úkolem práce je navrhnout řešení řídicí elektroniky airsoftové zbraně. Jedná se o senzorickou část mechanických prvků uvnitř zbraně. Zpracování signálů ze senzorů a řízení DC motoru. Předpokládá se použití populárních platforem Arduino, ESP32. Výstupem práce by mělo být řešení, které umožňuje uživateli pohodlně konfigurovat režimy střelby.

Cíle bakalářské práce:

- 1) Proved'te rešerši v oblasti zájmu. Zaměřte se na podobné produkty na trhu a ty popište. Uveďte přesně cíle práce, kterých má být dosaženo.
- 2) Navrhněte řešení pro konkrétní zbraň. Zvolte uspořádání komponent ve zbraní. Vyberte potřebný mikrokontrolér a navrhněte řídicí elektroniku se senzorikou. Navrhněte také výkonovou část k řízení motorku zbraně.
- 3) Vytvořte firmware pro navrženou elektroniku. Předpokládá se bezdrátová komunikace, pomocí které může uživatel nastavovat různé režimy střelby.
- 4) Funkční vzorek řešení ověřte. Zhodnoťte výsledek práce pomocí vhodných experimentů.

Seznam doporučené literatury:

ISERMANN, Rolf. Mechatronic systems: fundamentals. New York: Springer, 2003. ISBN 1852336935.

ZÁHLAVA, Vít. Návrh a konstrukce desek plošných spojů: principy a pravidla praktického návrhu. Praha: BEN - technická literatura, 2010. ISBN 978-80-7300-266-4.

VALÁŠEK, Michael. Mechatronika. Praha: České vysoké učení technické, 1995. ISBN 80-01-01276-X.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2019/20

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Jindřich Petruška, CSc.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

Abstrakt

Tato práce se zabývá řešením řídicí elektroniky airsoftové zbraně typu AR15. Pro vytvoření prototypu bylo zapotřebí vybrat použitelné komponenty, navrhnout desku plošného spoje a vytvořit software pro inteligentní řízení. Díky navržené elektronice bude moci uživatel plně kontrolovat chování své zbraně.

Abstract

This thesis deals with control electronics of airsoft gun type AR15. To create a prototype, it was necessary to select applicable components, design a printed circuit board, and create intelligent control software. Thanks to the designed electronics, the user will be able to fully control the behavior of his weapon.

Klíčová slova

airsoftová zbraň, řídicí elektronika airsoftové zbraně, AR15, ESP32, optický senzor

Key words

airsoft gun, control electronics of airsoft gun, AR15, ESP32, optical sensor

Bibliografická citace

ŠINDELÁŘ, Jiří. Návrh řídicí elektroniky airsoftové zbraně. Brno, 2020. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/125122>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav mechaniky těles, mechatroniky a biomechaniky. Vedoucí práce Michal Bastl.

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci *Návrh řídicí elektroniky airsoftové zbraně* vypracoval samostatně pod vedením Ing. Michala Bastla, s použitím materiálů uvedených v seznamu použitých zdrojů.

Jiří Šindelář

Brno

.....

Děkuji svému vedoucímu Ing. Michalu Bastlovi, za svědomité vedení mé bakalářské práce. Dále také mému otci Jiřímu Šindelářovi za trpělivost a ochotu vysvětlit řešenou problematiku.

Jiří Šindelář

Obsah

1	ÚVOD.....	8
2	REŠERŠE.....	9
2.1	FUNGOVÁNÍ AIRSOFTOVÉ ELEKTRICKÉ ZBRANĚ (AEG).....	9
2.2	PODOBNÉ PRODUKTY NA TRHU.....	10
2.2.1	Grizzly-Airsoft	10
2.2.2	JeffTron	11
2.2.3	Perun.....	12
2.2.4	Gate.....	13
3	CÍL PRÁCE.....	14
4	ŘEŠENÍ A VÝSLEDKY.....	15
4.1	VÝBĚR SENZORICKÉ ČÁSTI.....	15
4.1.1	Snímání pístového kola	15
4.1.2	Snímání spouště.....	16
4.1.3	Snímání kulisy přepínače	17
4.2	VÝBĚR MIKROKONTROLERU.....	17
4.2.1	ESP-32.....	18
4.3	VÝBĚR VÝKONOVÉ ČÁSTI.....	18
4.4	DESKA PLOŠNÝCH SPOJŮ	20
4.4.1	Ověření senzorické části.....	20
4.4.2	Finální podoba desky plošných spojů.....	22
4.4.3	Rozložení komponent na finální desce plošných spojů.....	22
4.5	SOFTWARE	25
4.5.1	Software střelby.....	26
4.5.2	Tvorba webových stránek.....	31
4.5.3	Komunikace mezi webem a procesorem.....	32
4.5.4	Řízení spotřeby	33
4.6	VÝVOJ PROTOTYPŮ	33
4.6.1	První prototyp.....	33
4.6.2	Druhý prototyp	34
4.6.3	Třetí prototyp.....	35
4.6.4	Čtvrtý prototyp	36
4.7	EXPERIMENTY	36
4.8	PROSTOR PRO ZLEPŠENÍ.....	37
5	ZÁVĚR.....	38
6	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ.....	40

1 Úvod

První elektrické airsoftové zbraně, dále jen AEG, se začaly vyrábět v Japonsku okolo roku 1970. [1] Tehdy sloužily jako tréninkové zbraně pro vojáky. Airsoftová zbraň má totiž přesné rozměry a hmotnost jako zbraň originální.

Postupem času se začaly zbraně vyrábět také pro širší veřejnost a fanoušky military. Cena jedné zbraně se pohybovala v desítkách tisíc korun a produkce byla velmi omezená. Postupně však Čína převzala status jedničky ve výrobě airsoftových zbraní. Kvalitou konstrukčního zpracování se jim podařilo dohnat Japonsko, zefektivnit výrobu a srazit cenu na jednotky tisíc korun za airsoftovou zbraň. Tímto se smazaly rozdíly mezi levnými zbraněmi a těmi značkovými.

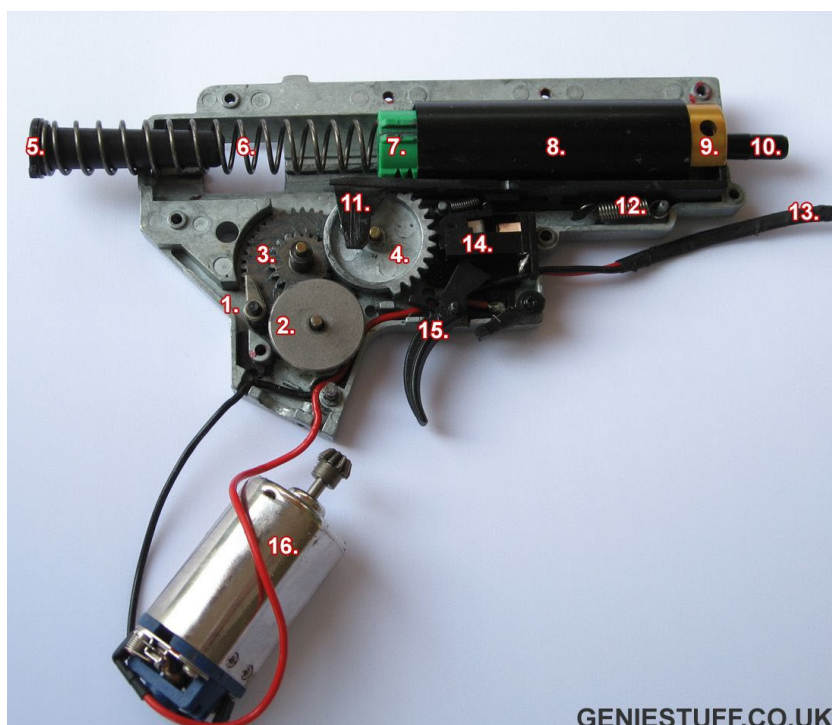
Proto vznikla idea využít nově nastupujícího trendu a vytvořit prototyp řídicí elektroniky airsoftové zbraně. Ten bude schopen uživateli nabídnout další, dosud nepoznané, možnosti v ovládání airsoftové zbraně a tím zbraň výrazně odlišit od těch, které jsou dnes běžně k dostání. Uživatel tak bude mít plnou kontrolu nad svojí zbraní a dle libosti si ji bude moct přenastavit přesně podle svých preferencí.



Obrázek 1.1: AEG značky Tokyo Marui – firmy která vymyslela AEG [2]

2 Rešerše

2.1 Fungování airsoftové elektrické zbraně (AEG)

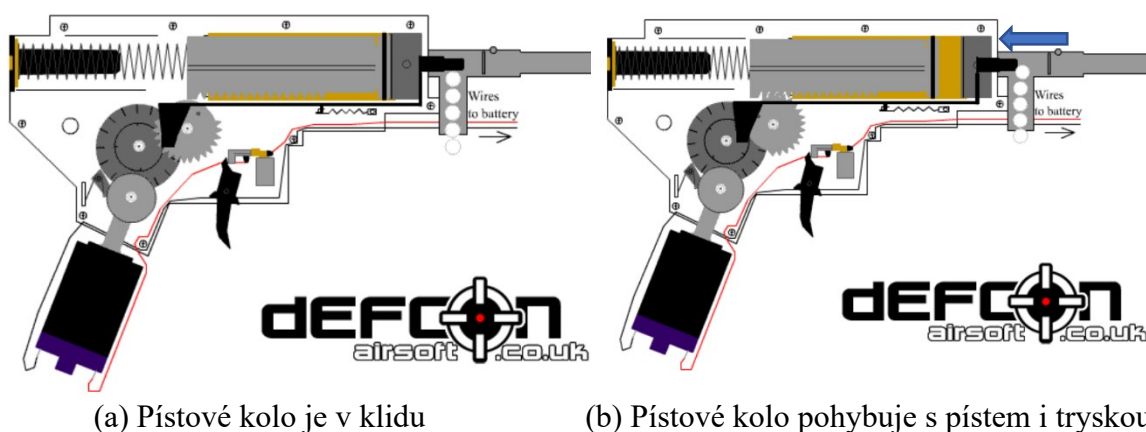


Obrázek 2.1: Popis komponent AEG [3]

- | | |
|---------------------------|------------------------------|
| 1. Západka zpětného chodu | 9. Hlava válce |
| 2. Motorové ozubené kolo | 10. Vzduchová tryska |
| 3. Středové ozubené kolo | 11. Ramínko podavače |
| 4. Pístové ozubené kolo | 12. Pružina ramínka podavače |
| 5. Trn pružiny (Vodič) | 13. Kabeláž k baterii |
| 6. Pružina | 14. Spoušťové kontakty |
| 7. Píst | 15. Spoušť |
| 8. Válec | 16. Motor s pastorkem |

Jakmile uživatel stiskne spoušť (15), spojí spoušťové kontakty (14) a tím uzavře celý elektrický obvod. Proud z baterie roztočí motor (16), který přes pastorek roztočí trojici ozubených kol (2,3,4). Rotující pístové kolo (4) velmi rychle začne natahovat píst (7) a tím stlačovat pružinu (6). O centrování pružiny se v ten moment stará trn pružiny (5). Píst (7) je natahován do té doby, dokud jsou v jeho ozubení zuby pístového kola (4). Jakmile se pístové kolo (4) dostane do polohy, kde v místě pístu (7) není již žádný jeho zub, pružina (6) začne tlačit píst (7) dopředu. Ten stlačí vzduch ve válci (9,10) a vyfoukne ho ven vzduchovou tryskou (10) přímo na kuličku, která hlavní vyletí ven.

Aby se kulička mohla dostat před trysku (10), je zapotřebí ramínko podavače (11), ve kterém je usazena samotná tryska (10). Během natahování pružiny (6) se ramínko podavače (11) s tryskou (10) pohybuje ve stejném směru jako pružina (6). Tím se vytvoří prostor pro kuličku, aby se dostala před trysku (10). Těsně před vypuštěním pístu (7) jde ramínko podavače (11) společně s tryskou (10) prudce dopředu a kuličku tak zatlačí do hlavně. Poté dochází ke stlačení vzduchu ve válci (8,9), který je tryskou (10) vypuštěn přímo na kuličku.



Obrázek 2.2: Pohyb trysky a kuličky [4]

Každá Airsoftová zbraň má na výběr ze tří různých režimů střelby, stejně jako reálná předloha zbraně. Jádna se o režim Semi, Auto a Safe. V režimu Semi zbraň po zmáčknutí spouště vystřelí pouze jednu ránu. V režimu Auto zbraň střílí, dokud je zmáčknutá spoušť. V režimu Safe je spoušť mechanicky zajištěna a nelze ji zmačknout – nedochází tedy k výstřelu. Mezi režimy střelby se přepíná pomocí pohybů kulisy přepínače.

2.2 Podobné produkty na trhu

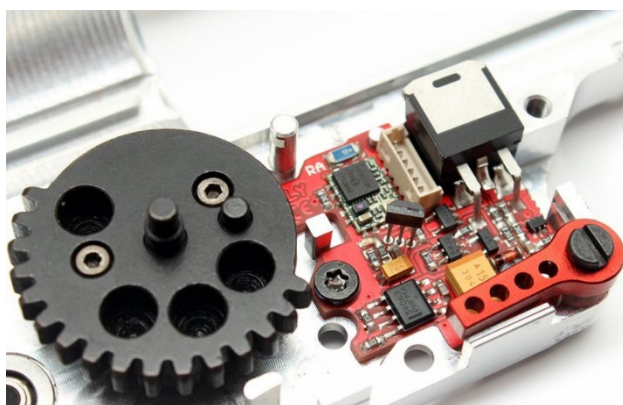
V dnešní době vyrábí řídicí elektroniku pro airsoftové zbraně typu AR15 jen pár firem. V Česku jsou to firmy JeffTron, Grizzly-Airsoft, v Polsku pak firma Gate a Perun. Tyto firmy dnes zabírají většinu světové produkce této elektroniky. Ve všech případech dochází k nahrazení původních spínacích kontaktů za inteligentní jednotku obsahující procesor, senzory a výkonovou část zahrnující některý z různých typů H-můstků. Produkt každé z výše jmenovaných firem má však určité nedostatky, které by měla tato práce vyřešit.

2.2.1 Grizzly-Airsoft

Jedná se o inteligentní řídicí elektroniku nahrazující původní spínací kontakty. Jednotka obsahuje 3 Hallové senzory, které snímají polohu magnetu na spoušti, pístovém kole a na kulise přepínače, jejíž poloha určuje, jestli se zbraň nachází v režimu Semi, Auto

nebo Safe. Jejich nejnovější model je vybaven Bluetooth modulem. Díky tomu si uživatel může vybrat, jak bude zbraň nastavovat. Buďto může její chování změnit pomocí speciálních sekvencí mačkání spouště, nebo k tomu může použít přímo mobilní aplikaci, která se přes Bluetooth technologii spojí přímo s řídicí jednotkou zbraně. Zde si uživatel přehledně navolí chování zbraně v jednotlivých režimech střelby. Každý režim, s výjimkou režimu Safe, lze přenastavit na režim Semi, Auto nebo dávku (Burst). U dávky si uživatel přesně navolí, kolik ran má být po zmáčknutí spouště vystřeleno. Dále si uživatel může nastavit kadenci své zbraně a aktivní brždění motoru.

Podle autorů se jedná o jednu z nejpropracovanějších jednotek na světě. I zde se však dají nalézt jisté nevýhody. Tou největší je složitější instalace. Uživatel si musí výše zmíněné magnety sám nalepit do zbraně podle přibaleného návodu. Tyto magnety se pak mohou při větších otřesech odlepit a tím zamezit střelbě. V horších případech pak může dojít k nechtěnému výstřelu nebo poškození zbraně. Další nevýhodou je obtížná změna citlivosti spouště. Spoušť je citlivá podle toho, jak si uživatel nalepil na spoušť magnet. Později se bude citlivost spouště měnit obtížně.



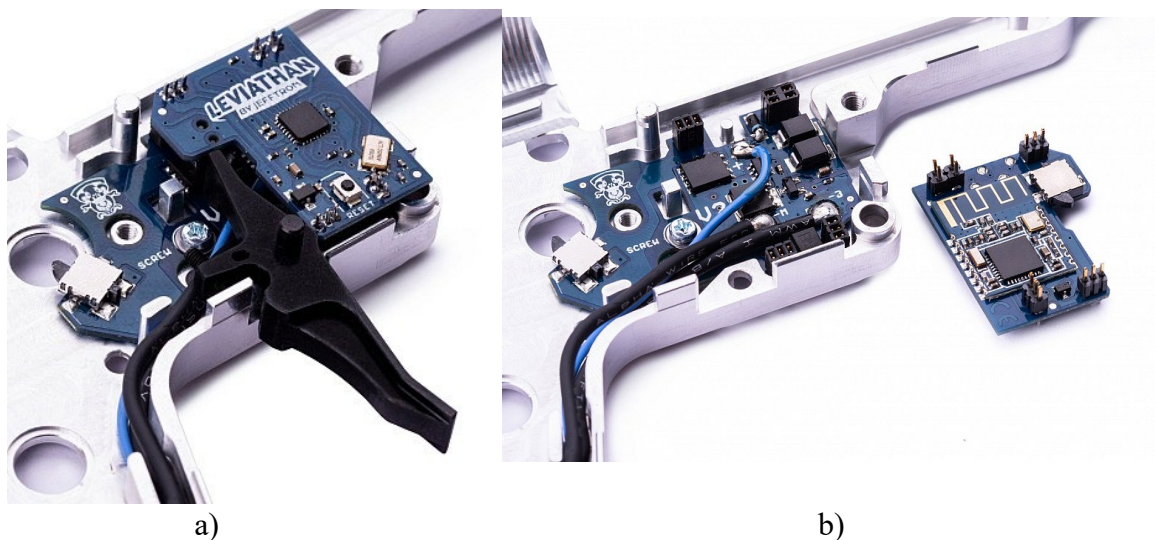
Obrázek 2.3: Řídicí jednotka od Grizzly-Airsoft ve zbrani společně s pístovým kolem [5]

2.2.2 JeffTron

Jedná se o další českou firmu vyrábějící inteligentní řídicí jednotky airsoftových zbraní typu AR15. Jejich vrcholný produkt nese název Leviathan. U tohoto produktu jsou Hallovy senzory nahrazeny mechanickými spínači. Jednotka také obsahuje Bluetooth modul a lze ji nastavovat přes mobilní aplikaci v chytrém telefonu. Nastavování režimů střelby je téměř totožné jako u výše zmíněné jednotky od Grizzly-Airsoft. Dále jednotka nabízí přehledné statistiky teplot procesoru a H-můstku, síly Bluetooth signálu, průměrného proudu pro jednotlivé režimy střelby a počtu ran za sekundu. Podobně tomu je i u jednotky od Grizzly-Airsoft.

Nevýhodou této řídicí jednotky je opět složité nastavování citlivosti spouště. Uživatel musí udělat rozborku zbraně a na spoušti změnit její zdvih. Dále při použití mechanických spínačů hrozí porucha spínače nebo jeho upadnutí, bude-li například špatně připevněný k desce plošného spoje. Další velkou nevýhodou je větší rozměr řídicí

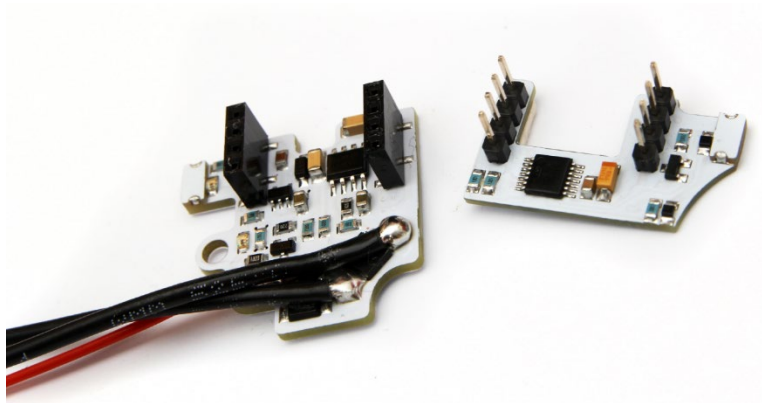
jednotky, který zavinil nutnost odstranit mechanickou západku, která v režimu Safe zabrání zmáčknutí spouště. Zde lze spoušť zmáčknu i v režimu Safe, což se neshoduje s chováním ostrých zbraní. K výstřelu však nedojde.



Obrázek 2.4: Řídící jednotka Leviathan ve zbrani a) složená, b) rozložená [6]

2.2.3 Perun

Vrcholný produkt polské firmy Perun nese název Perun V2 Optical. Jak už sám název napovídá, firma zde vsadila na optické senzory, které nahradily mechanické spínače a Hallovy senzory. Jednotka nepodporuje žádnou bezdrátovou komunikaci. Jedinou možností nastavení celé jednotky jsou speciální sekvence mačkání spouště. Celý proces je poměrně srozumitelný a rychle zapamatovatelný. Uživatel má možnost si přenastavit všechny režimy střelby s výjimkou režimu Safe podobně jako tomu je u předchozích řídicích jednotek.



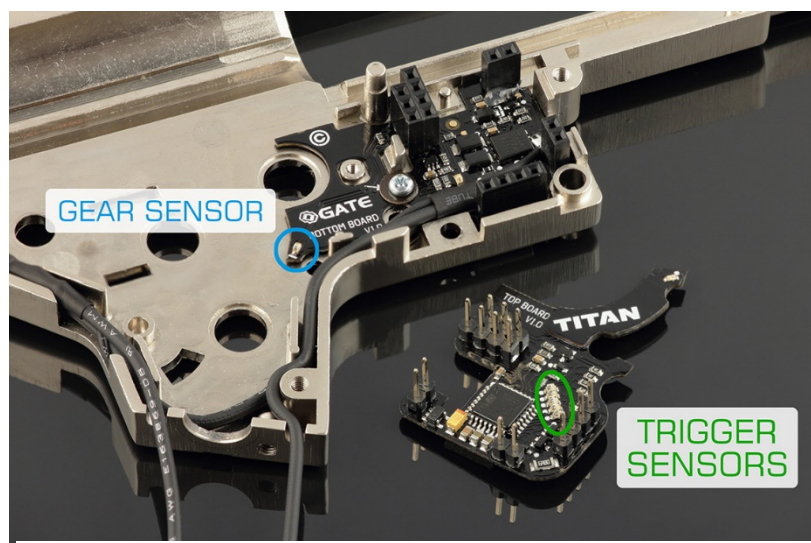
Obrázek 2.5: Řídící jednotka Perun V2 Optical rozložená [7]

Výhodou této jednotky jsou optické senzory, které budou s největší pravděpodobností spolehlivější, než mechanické spínače nebo lepené magnety. Další

výhodou je propracované a logické nastavování jednotky pomocí spouště. Nevýhodou je chybějící bezdrátová komunikace. S tím je spojena absence uživatelsky přívětivého grafického prostředí, ve kterém by měl uživatel přístup například ke statistikám své zbraně. Další nevýhodou je nemožnost nastavení citlivosti spouště a větší proudový odběr optických senzorů.

2.2.4 Gate

Polská firma Gate patří mezi opravdovou špičku na světovém trhu a nabízí jeden z nejpokročilejších produktů s názvem Titan V2. Titan využívá ke snímání spouště, ozubených kol a kulisy přepínače pouze optické senzory. Uživateli nabízí nepřehledné množství nastavení. Možnost změnit chování zbraně v jednotlivých režimech je samozřejmostí. Dále řídicí jednotka Titan V2 nabízí nastavitelnou prodlevu mezi jednotlivými výstřely jako simulaci přebíjení zbraně, nebo režim „AUG“ ve kterém při lehkém zmáčknutí spouště zbraň vystřelí pouze jednu ránu a při zmáčknutí spouště až do konce začne zbraň střílet, jako by se nacházela v režimu Auto. Jedná se o jednu z nejpokročilejších řídicích jednotek na světě a tomu odpovídá také cena, která je až dvakrát vyšší než u konkurence. Aktuální běžná cena řídicí jednotky společně s příslušenstvím je 3890 Kč.



Obrázek 2.6: Řídicí jednotka Gate Titan [8]

Největší výhodou této jednotky je možnost velmi přesného nastavení citlivosti spouště. Sám výrobce udává, že si uživatel může vybrat až z 50 různých poloh spouště, kdy dojde k výstřelu. Další výhodou je možnost jednotku aktualizovat přes mobilní telefon nebo počítač, pro které má firma Gate vytvořené velmi propracované a srozumitelné grafické prostředí. Ani tato jednotka však není dokonalá. Největší nevýhodou je absence bezdrátové komunikace. To znamená, že pro nastavení řídicí jednotky je zapotřebí nejdříve připojit počítač, telefon nebo speciální programovací kartu k jednotce pomocí USB konektoru. Další nevýhodou je vyšší energetická náročnost

způsobena použitím optických senzorů a absence mechanické západky, která v režimu Safe zabrání zmáčknutí spouště, podobně jako tomu je u českého produktu Leviathan.

3 Cíl práce

Cílem této práce je navrhnout a vytvořit prototyp řídicí jednotky pro řízení střelby airsoftové zbraně. Uživatel si bude moct zbraň nakonfigurovat přesně podle svých představ. To vše z jakéhokoliv zařízení vybaveného Wi-Fi připojením a jednoduchým webovým prohlížečem. Jednotlivé cíle práce jsou následující:

- Provést rešerši v oblasti zájmu a zaměřit se na podobné produkty na trhu.
- Navrhnout řešení pro konkrétní zbraň a zvolit uspořádání komponent ve zbrani.
- Vybrat potřebný mikrokontroler, navrhnout řídicí elektroniku se senzorikou
- Navrhnout výkonovou část k řízení motoru zbraně.
- Vytvořit firmware pro navrženou elektroniku
- Ověřit funkční vzorek řešení a zhodnotit výsledek pomocí vhodných experimentů

4 Řešení a výsledky

4.1 Výběr senzorické části

Řídící jednotka potřebuje pro správnou funkci snímat spoušť, pístové kolo a kulisu přepínače. Pro snímání jednotlivých komponent zbraně, bylo zapotřebí vybrat správnou kombinaci senzorů. V úvahu přicházely mechanické mikropřepínače, Hallové senzory, nebo optické senzory. Mechanické spínače mají velkou výhodu v jednoduchosti instalace a použití. Jejich nevýhodou je možné opotřebení, které může vzniknout opakovaným fyzickým spínáním. Toto opotřebení nehrozí u Hallové sondy nebo optického senzoru, skládajícího se z fototranzistoru a diody vyzařující světlo v infračerveném spektru. Tato výhoda je bohužel vykoupena složitějším laděním. Je zapotřebí správně zvolit zapojení společně s odpory, aby procesor dostával správná data z těchto senzorů.

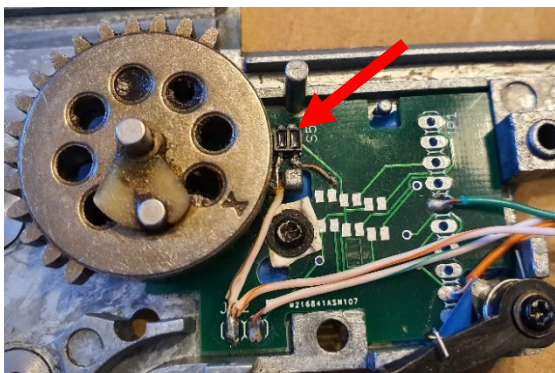
4.1.1 Snímání pístového kola

Snímání pístového kola je zásadní pro orientaci v cyklu střelby. Procesor musí vědět, kolik ran proběhlo a v jaké fázi střelby se zbraň momentálně nachází. Důvodů je hned několik.

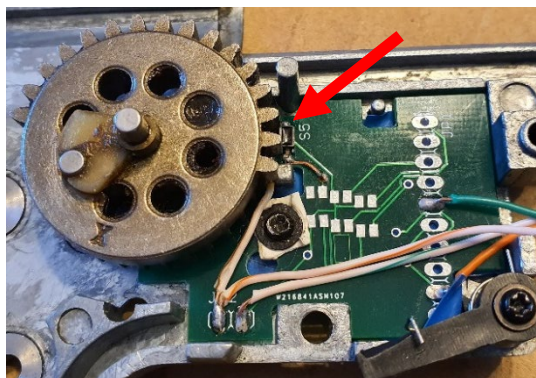
1. Je zapotřebí, aby se po ukončení střelby natočila ozubená kola tak, aby pružina byla v relaxaci a neztrácela tak své mechanické vlastnosti vlivem dlouhodobého stlačení.
2. V režimu Semi musí být procesor schopen spočítat jednu ránu a poté zastavit střelbu, dokud se spoušť opět nezmačkne.
3. V režimu Burst musí být procesor schopen napočítat požadovaný počet ran na jedno zmačknutí spouště.
4. V režimu Auto musí být procesor schopen vždy nechat dokončit cyklus již započatého výstřelu. A to i v případě, že uživatel již nedrží spoušť. Jednoduše nesmí dojít k zastavení střelby uprostřed cyklu.

Vzhledem k rychlému otáčení pístového kola, byla zamítnuta myšlenka použití mechanického spínače. Mohlo by zde dojít k únavovému porušení vlivem velmi častého spínání. Zamítnut byl také Hallův senzor. Lepení magnetu se jevilo jako nepříliš spolehlivá možnost. Vlivem vibrací by mohlo docházet k odlepení magnetu a následném vniknutí mezi ozubená kola, což by mohlo znamenat zadření celého mechaboxu.

Byl tedy zvolen optický senzor značky KingBright Electronic s označením KTIR0711S, který je přesně umístěn tak, aby zabíral ozubení pístového kola. Jeho výhodou je velmi rychlé a spolehlivé snímání ozubeného kola. Nevýhodou je citlivost na záření. Hodnoty ze senzoru ovlivňuje jak denní světlo, tak záření z okolních senzorů. Další proměnnou jsou odrazové plochy samotného mechaboxu, ve kterém jsou všechny komponenty umístěny. Proto bylo zapotřebí začernit plochy naproti optickému senzoru, aby byla jeho funkce spolehlivější.



a)

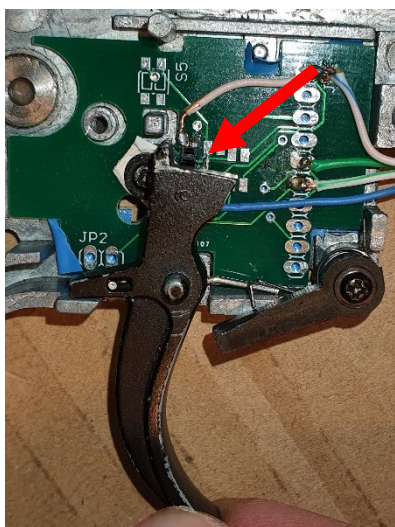


b)

Obrázek 4.1: Optický senzor ozubeného kola a) odkrytý, b) zakrytý

4.1.2 Snímání spouště

Zmáčknutí spouště je základní povel k provedení střelby. Proto i zde je zapotřebí snímat spoušť a určit, kdy má dojít k výstřelu. Při použití mechanického spínače, nebo Hallova senzoru nelze určovat přesnou polohu spouště. Proto bylo rozhodnuto použít více optických senzorů, které budou postupně překrývány spouští. Na desce se tedy vytvořilo místo pro tři optické senzory značky Omron s označením EE-SY199. Vzápětí se však ukázalo, že spoušť neprochází takovou trajektorií, aby postupně překryla všechny tři senzory. Proto se snímání spouště omezilo pouze na dva senzory.



a)



b)

Obrázek 4.2: Optický senzor spouště a) odkrytý, b) zakrytý

Spoušť zpočátku nepřekrývá žádný senzor. Při menším pohybu dojde k překrytí prvního senzoru. Při pokračování v mačkání spouště dojde k překrytí obou senzorů až nakonec zůstane překrytý pouze druhý senzor. Díky tomu má procesor přesná data o aktuální poloze spouště. Přesné polohy lze využít pro jednoduché nastavení citlivosti

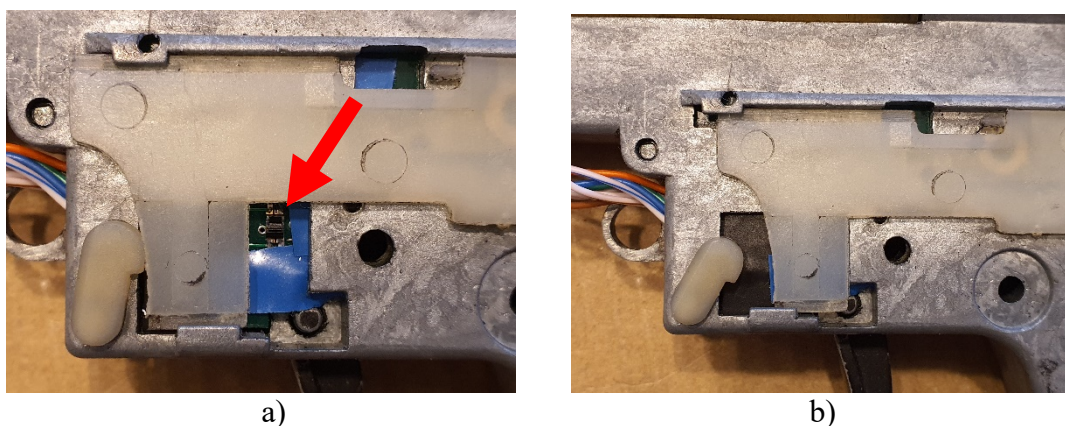
spouště. Uživatel si sám navolí, v jaké fázi dojde k výstřelu. Toto by nebylo možné při použití senzorů jiného typu.

4.1.3 Snímání kulisy přepínače

Poloha kulisy přepínače jasně udává režim, ve kterém se zbraň momentálně nachází. K jejímu snímání lze použít všechny tři senzory bez větších obtíží. Mechanický spínač zde nebude příliš namáhán a ani odlepení magnetu zde nijak zvlášť nehrozí. I přesto bylo použití optických senzorů jasnou volbou. Výhody jsou jednoduchá instalace (není potřeba do zbraně lepit magnety) a bezkontaktní spínání (nedochází k fyzickému kontaktu s kulisou přepínače).

Na desce plošných spojů byly tedy umístěny dva optické senzory značky Omron s označením EE-SY199. Jeden byl překryt kulisou přepínače, jestliže byla zbraň nastavená v režimu Auto. Druhý senzor byl pak překryt, jestliže se zbraň nacházela v režimu Safe. Díky tomuto rozložení měl procesor přesná data o aktuální poloze kulisy přepínače.

Nakonec se ukázalo, že mechanická západka blokující zmáčknutí spouště v režimu Safe je postačující. Není tedy třeba, aby měl procesor data o režimu Safe. Proto byl, v rámci úspory odběru elektrického proudu, senzor snímající režim Safe odstraněn. I s jedním senzorem je totiž procesor schopen přesně nastavit chování zbraně podle nastavení uživatele.



Obrázek 4.3: Optický senzor kulisy přepínače, režim a) Semi, b) Auto

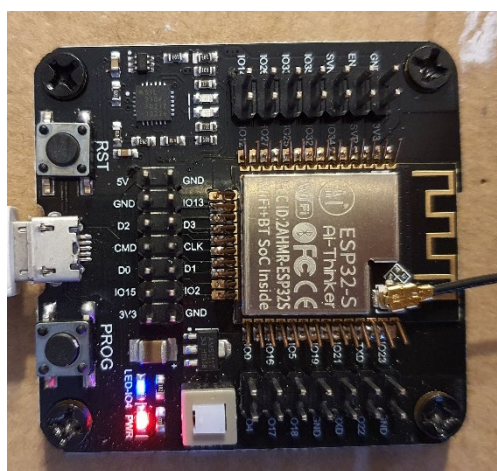
4.2 Výběr mikrokontroleru

Jedním ze základních požadavků, které by měl vybraný mikrokontroler splňovat, byla možnost bezdrátové komunikace. Nabízely se tedy mikrokontrolery s Bluetooth technologií, nebo technologií Wi-Fi. Uživatel by pak byl schopen komunikovat s řídicí jednotkou ve zbraní pomocí mobilního zařízení nebo počítače.

4.2.1 ESP-32

Pro tuto práci byl zvolen procesor ESP32-WROOM-32U. Jedná se o vysoce výkonný mikroprocesor. Vedle WiFi je vybaven také rádiem a Bluetooth ve verzi 4.2 s podporou BLE (Bluetooth Low Energy). Procesor obsahuje dvě výpočetní jádra a jeho SRAM paměť má velikost 512 kB.[9] Primárně se rozhodlo komunikovat pomocí Wi-Fi a webového rozhraní. Výhodou je možnost komunikovat s procesorem z každého zařízení, které se dokáže připojit k přístupovému bodu samotného procesoru. Není tedy potřeba používat speciálně vyvinuté aplikace pro komunikaci s procesorem. Jedinou podmínkou je základní internetový prohlížeč, který bude schopen načíst webové stránky procesoru. Procesor je dále vybaven dostatečným množstvím výstupních a vstupních pinů, které budou snímat jednotlivé senzory nebo spínat MOSFET.

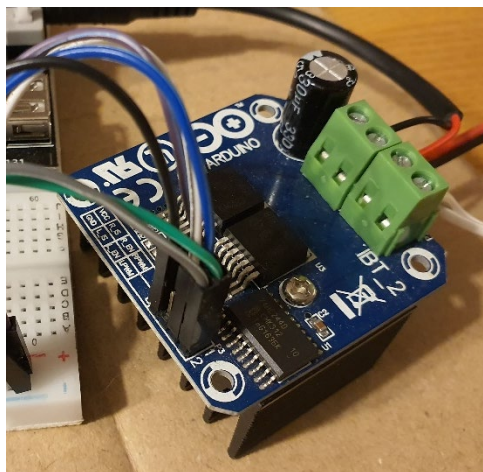
Velkou výhodou je možnost programovat procesor v uživatelsky příjemném prostředí Arduino IDE. V tomto prostředí lze jednoduše přidávat potřebné knihovny, nebo nahrávat podobu webové stránky procesoru přímo do jeho flash paměti.



Obrázek 4.4: Programování čipu ESP32

4.3 Výběr výkonové části

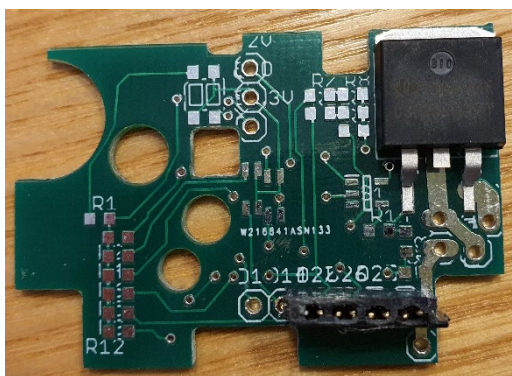
Prvotní myšlenka byla použít H-můstek, který by byl schopen spínat motor ve všech čtyřech pracovních kvadrantech. To by znamenalo, že by motor byl schopen se roztáčet v obou směrech. Dále by motor mohl brzdit ozubená kola v případě potřeby. Proto byl v prvním prototypu použit H-můstek BTS7960B od značky Arduino, který zvládne až 43A trvalého proudu. Nevýhodou tohoto H-můstku jsou jeho větší rozměry, které neumožňují jeho implementaci do zbraně. Proto byl použit pouze pro prvotní testování, které mělo odhalit, zdali je potřeba používat H-můstek a nestačí použít například jednoduchý MOSFET.



Obrázek 4.5: Ovládání motoru zbraně pomocí H-můstku BTS7960B

Po první testech se ukázalo, že motor stačí spínat pouze v prvním pracovním kvadrantu. Setrvačnost airsoftového motoru není příliš velká, aby bylo potřeba motor aktivně brzdít tím, že bychom na chvíli změnil směr chodu motoru. V případě takového brždění dokonce hrozilo zničení celé zbraně z důvodu opačného chodu motoru. Jestliže by se kola v mechaboxu začala točit opačně, zarážka zpětného chodu by se snažila tomuto zabránit a mohlo by dojít k fatálnímu poškození celého mechaboxu. Proto se rozhodlo, že se použije jednoduchý MOSFET. Vybíral se takový MOSFET, který bude mít co nejvyšší trvalý proud kolektorem a co nejmenší rozměry.

Nakonec byl zvolen MOSFET firmy Texas Instruments s označením CSD18511KTT. Možný trvalý proud kolektorem je až 200 A a prahové napětí mezi hradlem a emitorem je 1,5 V. Pro spínání byl použit MOSFET driver.



Obrázek 4.6: MOSFET CSD18511KTT umístěný na DPS

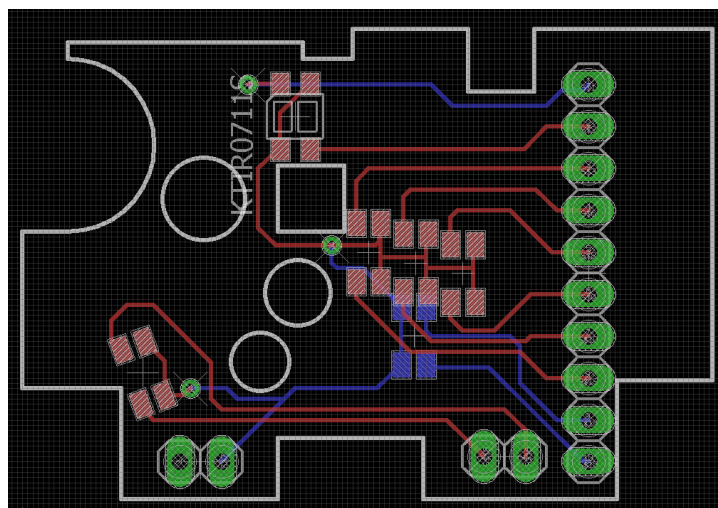
Dále bylo potřeba mezi konektory motoru umístit diodu, která slouží jako ochrana před napěťovou špičkou při vypnutí indukční zátěže. Zvolila se tedy dioda značky Rectron s označením 1N5404-B, která dokáže odolat nárazovému proudu až 200 A.

4.4 Deska plošných spojů

Aby bylo možné všechny potřebné komponenty vložit do zbraně, bylo potřeba využít SMD součástek. Tyto součástky bylo potřeba vhodně rozvrhnout na desce plošných spojů a zaručit jejich správné propojení. Pro ověření funkčnosti sensorické části se rozhodlo vytvořit nejdříve plošný spoj, který bude mít pouze plošky pro umístění senzorů. Jednotlivé piny senzorů pak byly vyvedeny na okraj desky pro jednodušší vyvedení na nepájivé pole. Po odladění sensorické části se mohla vytvořit finální deska plošných spojů

4.4.1 Ověření sensorické části

Nejdříve bylo potřeba navrhnut správný tvar tak, aby deska plošných spojů nikde nepřekážela a přes to bylo možné senzory umístit na správné místo. Proto byl využit 3D tisk, díky kterému bylo možné vytvořit přesný prototyp tvaru plošného spoje. Po odladění rozměrů plošného spoje byla zaslána do výroby první deska.



Obrázek 4.7: Návrh zkušební desky plošných spojů

Na desku byly napájeny optické senzory pro snímání spouště, ozubeného kola a kulisy přepínače. Do zbraně se vložily postupně všechny komponenty, které bylo potřeba snímat. V temném prostředí pak probíhalo testování použitelnosti námi navržených senzorů. Na konci testování bylo zjištěno hned několik poznatků.

- Optické senzory jsou velmi citlivé na okolní světlo. Proto je potřeba, aby testování probíhalo nejlépe v úplné tmě. Tma simuluje prostředí uzavřeného mechaboxu, ve kterém budou senzory pracovat.
- Jestliže se 2 senzory nachází blízko sebe, navzájem se výrazně ovlivňují. S tímto je potřeba počítat především u snímání spouště.

- Použité senzory jsou citlivé na hrubé zacházení a při neodborné manipulaci může lehce dojít k poškození.
- Pro funkčnost infračervené diody byl zvolen předřadný odporu $1\text{ k}\Omega$. Tato hodnota je volena záměrně vyšší, než jakou udával výrobce. Dosáhlo se tak nižšího odběru proudu při zachování spolehlivého snímání. Proud diodou je definován dle vztahu 4.1.

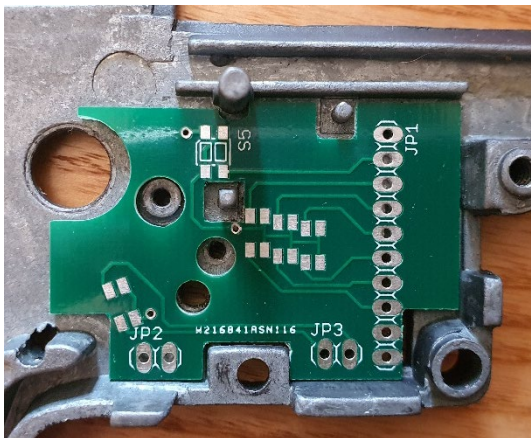
$$I = \frac{U_{cc} - U_d}{R} \quad (4.1)$$

kde

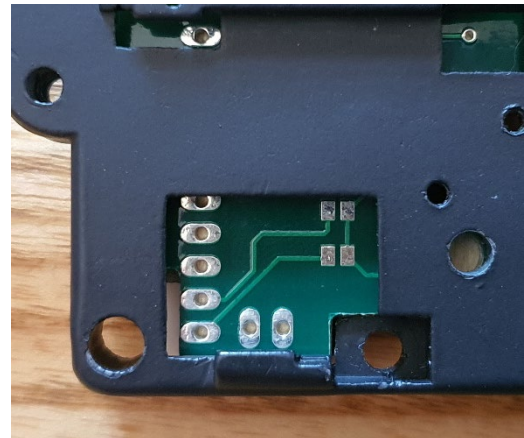
U_{cc} představuje napájecí napětí a U_d je prahové napětí diody. R je předřadný odpor diody.

- V závislosti na poloze a účelu senzoru se musel experimentálně zjistit vhodný odpor v kolektoru. Tento odpor ovlivňuje hodnoty napětí, které budou naměřeny mezi kolektorem a zemí. Cílem je zvolit takový odpor, aby při zakrytí senzoru naměřil procesor logickou nulu a při odkrytí senzoru naměřil logickou jedničku.
- V případě senzoru snímajícího ozubené kolo je experimentálně zvolená hodnota odporu na kolektoru $1\text{ M}\Omega$.
- V případě senzorů snímající spoušť je hodnota odporu na kolektoru $470\text{ k}\Omega$.
- V případě senzoru snímajícího kulisu přepínače je hodnota odporu na kolektoru $1,47\text{ M}\Omega$.

Se zohledněním všech výše zmíněných poznatků se došlo k závěru, že navržené senzory lze úspěšně použít. Také umístění senzorů na první desce se ukázalo jako aplikovatelné. Proto se mohlo přistoupit k vytvoření desky plošných spojů, která již bude obsahovat všechny součásti umístěné na nepájivém poli. Jmenovitě to jsou odpory, MOSFET, procesor a další podpůrné součástky.



a)

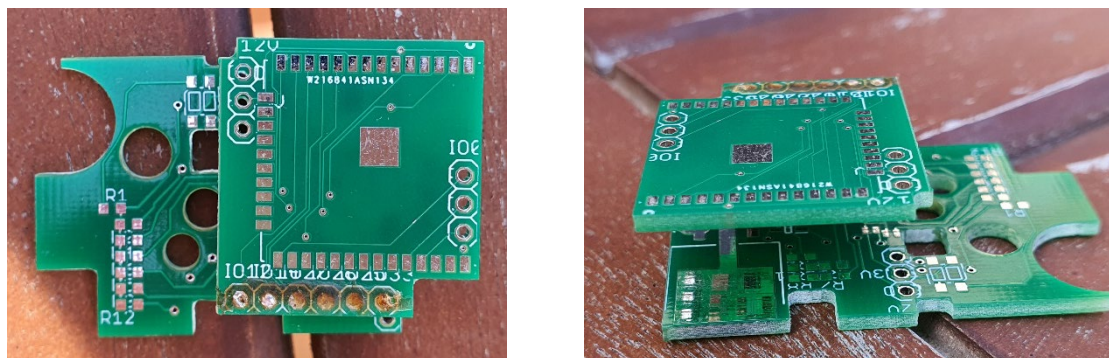


b)

Obrázek 4.8: Zkušební deska plošných spojů a) Přední část b) Zadní část

4.4.2 Finální podoba desky plošných spojů

Prvotní myšlenka byla taková, že se do mechaoboxu umístí všechny potřebné komponenty. Bylo tedy potřeba rozvrhnout jednotlivé části obvodu tak, aby žádná z nich neovlivňovala funkčnost zbraně a nebylo potřeba zbraň nějakým způsobem upravovat. Jako ideální řešení se jevílo použití dvou desek plošných spojů, které budou mezi sebou propojeny pomocí pevných kontaktů. Mezi deskami by se pak pohybovala spoušť, která by byla snímána senzory umístěnými na spodní straně desky, podobně jako tomu bylo u první testovací desky.

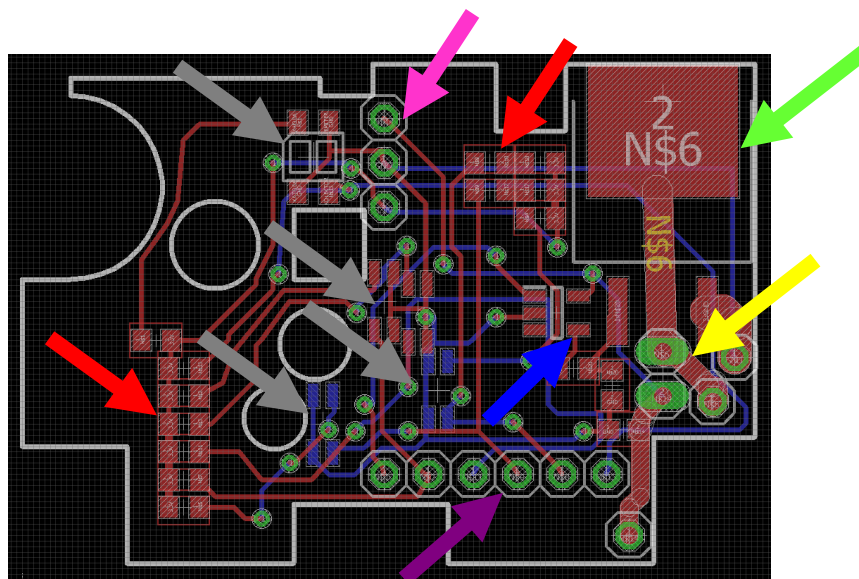


Obrázek 4.9: Dvě desky plošných spojů spojené pevnými kontakty

Po sestavení desek plošných spojů bylo zjištěno, že toto uspořádání nelze použít bez úpravy pouzdra mechaoboxu. Problém nastal při zavírání mechaoboxu, kdy bylo potřeba přiložit druhou polovinu mechaoboxu. Ta obsahovala dva menší výstupky, které narážely do vrchní desky a zamezovaly tak složení zbraně. Bylo tedy potřeba v mechaoboxu nechat pouze spodní desku a vrchní vyvést pomocí tenkého izolovaného kabelu do předpažbí, kde má zbraň typu AR15 dostatek místa a nachází se v přímé blízkosti spodní desky.

4.4.3 Rozložení komponent na finální desce plošných spojů

Pro ovládání zbraně musela deska obsahovat mikroprocesor, MOSFET, ochranou diodu, optické senzory, předřadné rezistory infračervených diod, kolektorové rezistory fototranzistorů, blokovací kondenzátory a stabilizovaný zdroj napájecího napětí pro procesor. MOSFET jsme se rozhodli spínat pomocí MOSFET driveru. Deska tedy musela obsahovat také MOSFET driver s dalšími součástkami, které jsou uvedené v dokumentu popisující fungování konkrétního MOSFET driveru. Veškeré součástky bylo potřeba vybírat co nejmenších rozměrů a umístit je co nejúsporněji. V mechaoboxu totiž není příliš místa.

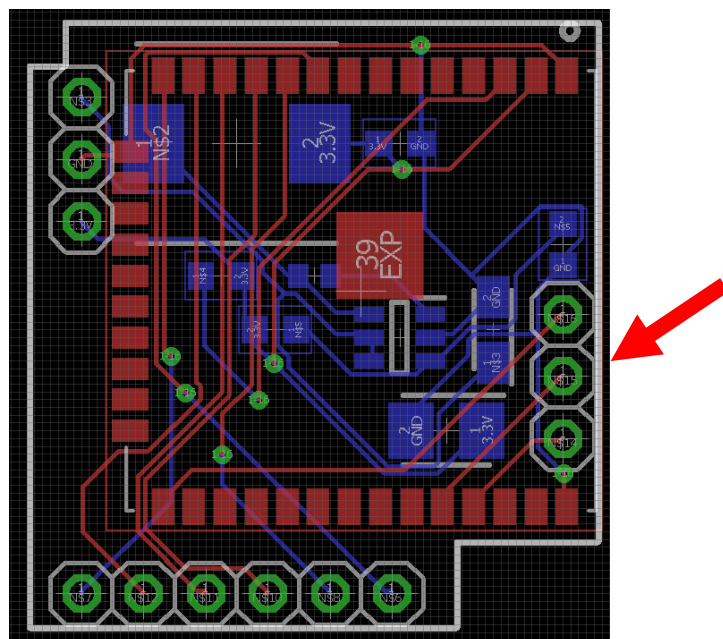


Obrázek 4.10: Rozložení komponent na spodní desce

- | | |
|------------------------|----------------------------------|
| 1. MOSFET | 5. pět optických senzorů |
| 2. ochranná dioda | 6. Rezistory k optickým senzorům |
| 3. MOSFET driver | 7. 3,3 V, 12 V, zem |
| 4. sada šesti kontaktů | |

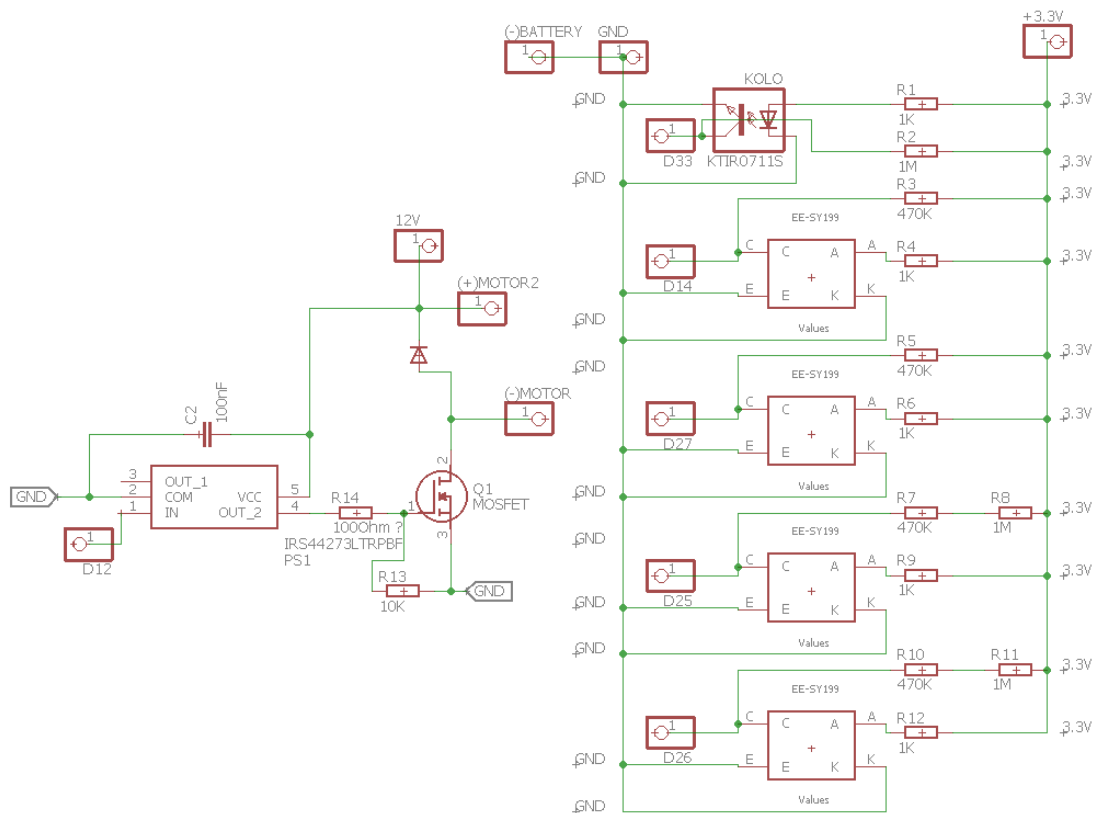
V pravé části desky je umístěna silová část ovládající motor. Zelená šipka ukazuje na místo, ve kterém se nachází MOSFET. Vzhledem k vyšším proudům bylo potřeba volit širší spoje vedoucí do MOSFETu. Bohužel ani takto široké spoje, jako jsou zobrazeny na obrázku 4.10, nestačí a je potřeba na ně nanést silnou vrstvu cínu, aby došlo ke zvětšení jejich průřezu. Žlutá šipka ukazuje na plošky, do kterých bude umístěna ochranná dioda. Modrá šipka pak ukazuje na MOSFET driver a po její pravé straně jsou umístěny potřebné komponenty pro jeho funkci. Jmenovitě to je kondenzátor o kapacitě 100 nF mezi napětím z baterie a zemí. Dále to je odpor o velikosti 100 Ω mezi hradlem MOSFETu a výstupem MOSFET driveru. Ve spodní části je umístěna sada šesti kontaktů, na které ukazuje fialová šipka. Tyto kontakty jsou posléze propojeny s příslušnými piny procesoru. Pět pinů představuje výstupy z pěti optických senzorů. Pomocí šestého pinu pak procesor dává povel ke spouštění motoru.

Šedé šipky ukazují na pět optických senzorů snímajících potřebné komponenty zbraně. Červené šipky směřují na rezistory umožňující správnou funkci optických senzorů. Hodnoty a způsob zapojení rezistorů jsou popsány výše v kapitole 4.4.1. Růžová šipka ukazuje na trojici konektorů představující 3,3 V, 12 V a zem. 12 V z baterie je dovedeno na horní desku, kde je na jedné straně stabilizovaný zdroj napájecího napětí pro procesor a na druhé straně pak samotný procesor. Stabilizovaný zdroj napětí převede napájecí napětí z baterie na 3,3 V a tímto napětím jsou teprve napájeny všechny senzory a procesor.

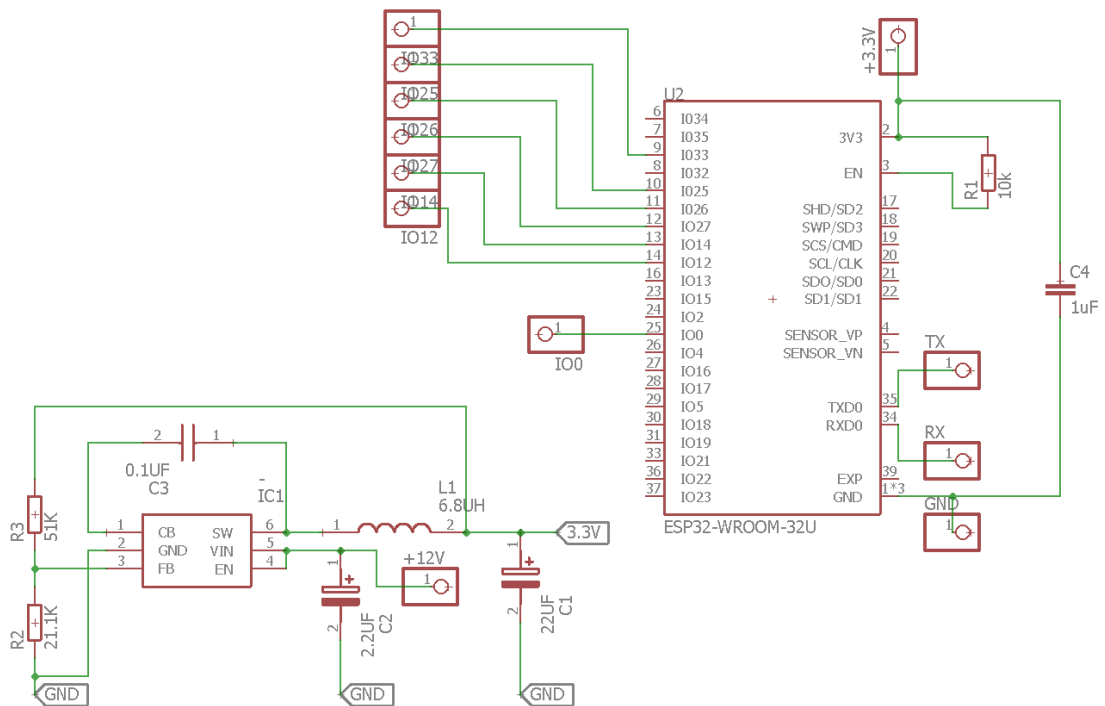


Obrázek 4.11: Rozložení komponent na vrchní desce

V pravé části vrchní desky lze vidět vyvedené 3 piny procesoru. Jedná se o piny sloužící k naprogramování procesoru. Jmenovitě to jsou piny s označením TX, RX a IO0.



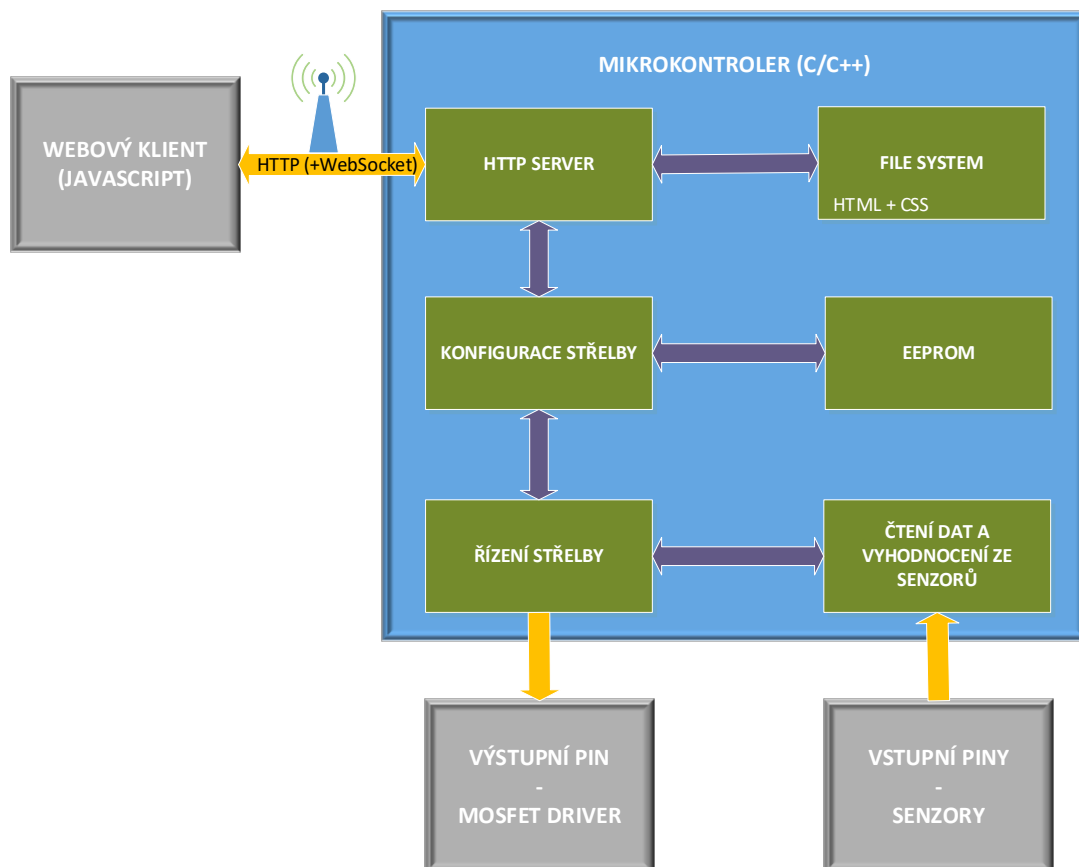
Obrázek 4.12: Schéma spodní desky plošných spojů



Obrázek 4.13: Schéma vrchní desky plošných spojů

4.5 Software

Pro správnou funkci procesoru bylo zapotřebí napsat software. Software tohoto konkrétního prototypu lze rozdělit do tří částí. První část se zabývá ovládáním střelby a jejím nastavením. Druhá část se zabývá tvorbou webových stránek, které budou uživateli zobrazeny. Třetí část pak zajišťuje komunikaci mezi webovým rozhraním a procesorem.



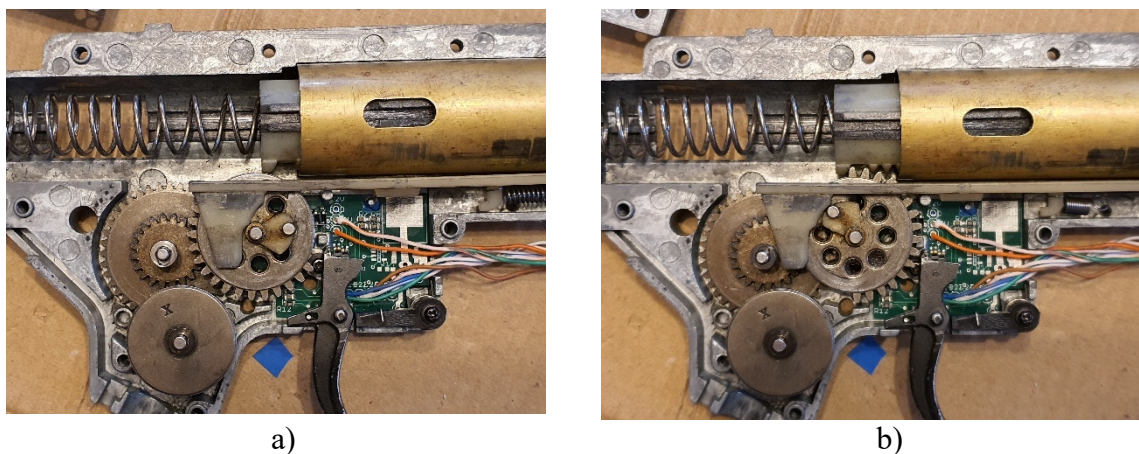
Obrázek 4.14: Blokové schéma systému

4.5.1 Software střelby

4.5.1.1 Software pro snímání výstřelu

Pro spolehlivou střelbu bylo zapotřebí vymyslet způsob, jak zaznamenat jeden výstřel na základě dat z optického senzoru kola. Senzor dává logickou jedničku, jestliže není překryt zubem pístového kola. Jakmile se nad senzor dostane zub, logická jednička se změní na logickou nulu. Zprvu tedy vypadalo, že procesor bude schopen počítat samotné zuby a díky tomu bude schopen velmi přesné orientace v cyklu střelby. Tato myšlenka se však ukázala pouze jako částečně pravdivá.

Při sepnutí motoru dochází k jeho roztočení. Jeho rychlost je však v prvních milisekundách výrazně pomalejší, než jaká je pak jeho ustálená rychlost. Zde začíná vznikat první problém. V prvních milisekundách je procesor opravdu schopen zaznamenávat jednotlivé zuby. To se změní při ustálené rychlosti, kdy již senzor není schopen zaznamenat mezery mezi zuby a v celé oblasti zubů hlásí logickou nulu. Jakmile se nad senzor dostane oblast bez zubů, změní se logická nula v logickou jedničku. Doba rozběhu motoru se dynamicky mění v závislosti na pozici pístového kola. Jestliže je pružina v relaxaci a pístové kolo nijak nepůsobí na zuby pístu, rozběh je výrazně rychlejší. V případě, že píst je nějakým nedopatřením přednatažený a kola tak ve chvíli sepnutí motoru již působí na píst, dochází k výrazně pomalejšímu rozběhu.



Obrázek 4.15: Pístové kolo a) nepůsobící, b) působící na píst

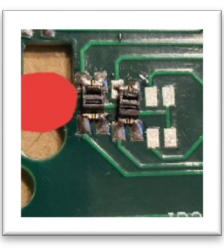
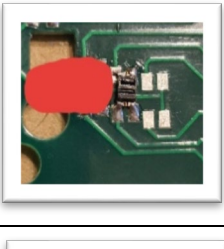
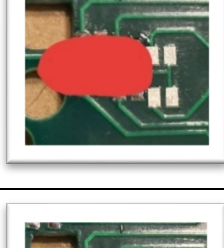
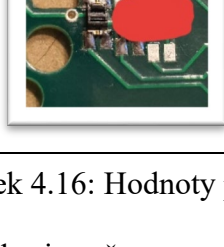
Na základě výše zmíněných poznatků bylo rozhodnuto, že prvních patnáct milisekund bude procesor ignorovat data přicházející ze senzoru pístového kola. Tím se zajistí dostatečná doba pro rozběh motoru. Procesor se tak vyhne fázi, ve které je schopen počítat samotné zuby. Snahou tedy bylo rozdělit snímání ozubeného kola na oblast zubů a oblast bez zubů.

Jakmile se podařilo softwarově vyladit snímání pístového kola, mohly se začít počítat jednotlivé výstřely. Bylo rozhodnuto, že za jeden výstřel se považuje takový okamžik, kdy nad senzorem projedou všechny zuby a objeví se mezera. Procesor tedy vidí spoustu logických nul (oblast zubů) a poté spoustu logických jedniček (oblast bez zubů). Jakmile k tomuto dojde, procesor zaznamená jeden výstřel a počká osm milisekund. Čekání je implementováno z toho důvodu, že v době započítání výstřelu zbraň ještě nevystřelila. V této chvíli je pouze přednatažený píst a zbývá osm milisekund do výstřelu. Tyto milisekundy byly experimentálně změřeny, aby bylo možné přesně počítat jednotlivé výstřely.

4.5.1.2 Software pro snímání spouště

Oba použité senzory spouště se chovají podobně, jako tomu je u senzoru pístového kola. Na výstupu dávají logickou jedničku, jestliže je nic nepřekrývá. Jakmile je však spoušť překryje, hodnota se okamžitě mění v logickou nulu. Jelikož analyzujeme hned dva senzory najednou, dostává procesor čtyři různé kombinace hodnot. Jestliže je spoušť v klidu, žádný ze senzorů není překryt a procesor tak dostává kombinaci hodnot „1 1“. Jakmile uživatel zmáčkne jemně spoušť, dochází k překrytí prvního senzoru a tím se kombinace hodnot změní na „0 1“. Při větším zmáčknutí spouště jsou překryty oba senzory a procesor tak dostává hodnoty „0 0“. V úplně zadní poloze spouště se první sensor odkryje a je překryt pouze druhý sensor. Hodnota se tedy změní na „1 0“.

Díky těmto kombinacím hodnot z optických senzorů lze softwarově měnit citlivost spouště. Uživatel si tedy může jednoduše navolit, v jaké poloze spouště dojde k výstřelu. Lze tedy navolit výstřel ve třech různých polohách.

	„1 1“
	„0 1“
	„0 0“
	„1 0“

Obrázek 4.16: Hodnoty při překrývání senzorů

První poloha, ve které může dojít k výstřelu, je určena pro střelce, kteří preferují citlivou spoušť. K výstřelu dochází již při překrytí prvního senzoru, tedy při kombinaci „0 1“. Aby nedocházelo k opětovnému výstřelu, jakmile se bude uživatel vracet se spouští zpět do klidové polohy, bylo zapotřebí vytvořit dvě proměnné, které si pamatují předešlou hodnotu obou senzorů. K výstřelu tedy dochází pouze tehdy, jestliže se objeví kombinace „0 1“ a předešlá kombinace byla „1 1“ (spoušť byla ve výchozí pozici).

Druhá poloha je určena pro střelce preferující normální citlivost spouště. K výstřelu dochází, jakmile jsou překryty oba senzory najednou. Procesor tedy dostává kombinaci hodnot „0 0“. Pocitově dochází k výstřelu ve stejné pozici spouště, jako tomu je u původní zbraně bez řídicí jednotky. Aby opět nedocházelo k výstřelu při uvádění spouště do klidu, musí být předešlá hodnota ze senzorů rovna kombinaci „0 1“. Teprve tehdy dojde k výstřelu.

Třetí poloha je určena pro uživatele, kteří preferují výstřel až v úplně zadní poloze, kde je spoušť mechanicky zablokována a nemůže se již dále posouvat. V této poloze spoušť překrývá pouze druhý sensor a k výstřelu dochází, jestliže aktuální kombinace hodnot je „1 0“ a předešlé hodnoty byly „0 0“.

Už na první pohled je jasné, že může dojít k situaci, kdy uživatel drží spoušť těsně na hraně překrytí senzoru. Senzor pak na výstupu velmi rychle mění hodnoty z logické jedničky na logickou nulu a naopak. V takovém případě by docházelo k opakovanému zahájení střelby. Vzhledem k tomu, že za jednu milisekundu dostane procesor až 250 výstupních hodnot každého senzoru, může dojít ke 125 zahájení střelby za jednu milisekundu. Nastavený režim Semi se tak velmi rychle stává režimem Auto. Pro vypořádání se s tímto problémem byla použita spínací diference známá také jako hystereze. Byly vytvořeny dvě pole o délce 100 znaků pro každý senzor spouště. Do těchto polí se postupně zapisují jejich výstupní hodnoty. Jakmile je součet všech hodnot jednoho pole menší než 10 považujeme výstupní hodnotu tohoto senzoru jako logickou nulu. Jestliže je součet všech hodnot jednoho pole větší jak 90, považujeme výstupní hodnotu tohoto senzoru za logickou jedničku.

4.5.1.3 Software pro nastavení režimů střelby

Pro snímání kulisy přepínače, která určuje režim střelby, je použit stejný typ optického senzoru jako v případě snímání spouště. Proto i chování je totožné. Při zvolení režimu Auto se kulisa posune do takové pozice, že zakryje optický senzor. Procesor tak dostává na výstupu senzoru logickou nulu. Díky tomu ví, že se nachází v režimu Auto. Jakmile se režim střelby přepne do režimu Semi dojde k odkrytí senzoru kulisy přepínače. Procesor tak na výstupu optického senzoru dostává logickou jedničku. Na základě této hodnoty změní nastavení střelby.

Chování zbraně je samozřejmě vždy závislé na přiřazeném nastavení k jednotlivým režimům střelby.

4.5.1.4 Software pro spínání motoru

Na základě provedených experimentů se dospělo k názoru, že není třeba spínat motor pomocí pulsně šířkové modulace. Téměř každý uživatel preferuje co nejrychlejší výstřel a pokud možno co největší kadenci (počet výstřelů za sekundu). Pokud by i tak měl někdo potřebu snižovat kadenci své zbraně, jeví se jako lepší volba, použití menší přestávky mezi jednotlivými výstřely než použití spínání pomocí PWM. Samotný výstřel by totiž měl být co nejrychlejší. Tento prototyp však zatím se zmenšováním kadence nepočítá. Proto dává procesor povel ke střelbě vždy napětím 3,3 V dovedeném na MOSFET driver, který pak spíná samotný MOSFET. Při zastavení střelby změní procesor napětí na příslušné noze opět na 0 V, čímž dojde k zavření MOSFTu a zastavení motoru.

4.5.1.5 Software pro změnu chování režimů střelby

Jak už bylo výše uvedeno, uživatel si bude moci sám nastavit chování zbraně přesně podle svých preferencí. Mezi to patří také možnost měnit chování jednotlivých režimů střelby. Při přepnutí na režim Semi nebo Auto se zbraň může chovat úplně jinak, než napovídá název nastaveného režimu.

Semi



Auto



Obrázek 4.17: Možnosti nastavení chování jednotlivých režimů střelby

Každý manuálně přepnutý režim lze přeprogramovat na semi, auto, burst nebo safe. Režim burst je česky režim dávky. Uživatel si sám navolí velikost dávky podle svých preferencí. Na výběr má ze dvou či tří ran. Po zmáčknutí spouště vždy dojde k vystřelení nastaveného počtu ran. Další možná chování jednotlivých režimů střelby na obrázku 4.17 jsou jasně vystižena svými názvy. Aby bylo možné jednoduše měnit nastavení chování zbraně, byla použita matice hodnot o třech řádcích a dvou sloupcích.

	Počet ran	Vystřelit všechny? Ano(1) / Ne(0)
1. Semi	1	1
2. Auto	999	0

Obrázek 4.18: První dva řádky matice (nastavení režimů střelby)

	Režim spouště	
3. Spoušť	1 (rychlá spoušť)	-

Obrázek 4.19: Třetí řádek matice (nastavení citlivosti spouště)

První řádek matice představuje nastavení chování v režimu Semi a druhý řádek v režimu Auto. Aby bylo celé nastavení co nejjednodušší využilo se úvahy, že každý výstřel se dá považovat za dávku. Semi tedy předpokládáme jako jednorannou dávku a chování auto považujeme jako dávku o velikosti 999 ran. Chování safe je pak definováno jako dávka o velikosti 0 ran.

První sloupec tedy slouží k uložení hodnoty, ke kolika výstřelům má dojít. Hodnota uložená v druhém sloupci pak procesoru říká, jestli má dojít k vystřelení všech ran uložených v prvním sloupci, nebo má být střelba přerušena, jakmile se pustí spoušť.

Jestliže je nastaveno chování semi nebo burst, uživatel předpokládá, že vždy dojde k vystřelení jedné, dvou nebo tří ran, a to i v případě, že už nedrží spoušť. Naopak při nastavení chování auto uživatel určitě nechce vystřelit všech 999 ran, jako je uvedeno v prvním sloupci matice. Hodnota druhého sloupce má tedy velikost 1 nebo 0. Hodnota 1 představuje příkaz k dostřelení všech ran uvedených v prvním sloupci bez ohledu na pozici spouště. Naopak hodnota 0 představuje příkaz k ukončení střelby v případě, že uživatel vrátí spoušť do výchozí pozice.

Třetí řádek pak představuje nastavení citlivosti spouště. Zde je aktivní pouze první sloupec, kde podle hodnoty v tomto sloupci procesor určuje, kdy bude docházet k výstřelu.

Celá tato matice se po přenastavení vždy ukládá do paměti EEPROM. Díky tomu si procesor pamatuje nastavení jednotlivých režimů a citlivosti spouště i po odpojení od zdroje napětí.

4.5.1.6 Software pro speciální režimy střelby



Obrázek 4.20: Speciální režimy střelby

Díky použití více optických senzorů snímajících spoušť bylo možné vytvořit nové režimy střelby, které jsou nezávislé na poloze kulisy. V tomto módu zbraň nerozeznává mezi režimy Semi nebo Auto a ignoruje tedy polohu kulisy přepínače.

Název AUG je inspirován rakouskou útočnou puškou Steyr AUG, kterou lze přepínat pouze mezi režimy Safe a Střelba. Režim Střelba v sobě obsahuje jak režim Semi, tak režim Auto. Při jemném zmáčknutí spouště dochází k vystřelení pouze jedné rány a po zmáčknutí spouště do zadní polohy dojde k přepnutí do režimu Auto. Stejně tomu je i u tohoto prototypu při zvolení režimu *AUG Auto*. Režim AUG Semi a AUG Burst představují variace originálního AUG režimu. Při jemném zmáčknutí spouště vždy dojde k vystřelení pouze jedné rány. Po zmáčknutí spouště do zadní polohy však dojde, jak už jejich samotný název napovídá, k vystřelení další jedné rány, nebo k vystřelení dvouranné dávky.

4.5.2 Tvorba webových stránek

Pro jednoduché nastavení zbraně byly zvoleny webové stránky, které lze navštívit po připojení k přístupovému bodu procesoru. Na těchto webových stránkách lze jednoduše a intuitivně nastavit chování zbraně podle vlastních preferencí. Podobu stránek bylo potřeba napsat v jazyce HTML. Stránky obsahují vždy nadpis a pod ním jsou umístěna tlačítka. Každé tlačítko má přiřazené své id, class a funkci, která se provede po kliknutí na tlačítko. Id je jedinečný identifikační kód každého tlačítka, který je po kliknutí

odeslaný procesoru. Ten pak přesně ví, jaké tlačítko bylo zmáčknuto a jaké změny má provést. Class představuje přiřazení designu tlačítka. U všech tlačítek je tedy class stejný, aby se sjednotil design webových stránek. Dále jsou zde obsažena dvě menu, ve kterých lze vybírat počet ran v nastavení burst a to pro režim Semi a Auto zvlášť. Výběr v menu je vždy potřeba potvrdit kliknutím na tlačítko „Potvrdit“. Teprve poté dojde k odeslání zvoleného nastavení procesoru.

Společně se souborem HTML je do flash paměti procesoru nahraný také soubor CSS obsahující předem definovanou velikost a fond textu, vzhled jednotlivých tlačítek a další designové prvky.

Make airsoft guns great again

Semi

Semi Auto Burst Safe

Auto

Semi Auto Burst Safe

Burst Semi

Vyber počet ran Potvrdit

Burst Auto

Vyber počet ran Potvrdit

Odezva na spoušť

Rychlá Střední Pomalá

Speciální odezva na spoušť -> nefunguje nastavování režimů střelby

AUG Auto AUG Semi AUG Burst

Obrázek 4.21: Webové stránky procesoru

4.5.3 Komunikace mezi webem a procesorem

Aby byla možná komunikace webového klienta s procesorem, byla použita komunikace pomocí WebSocketů. Jedná se o komunikační protokol umožňující obousměrnou komunikaci mezi webem a procesorem.

Při kliknutí na určité nastavení na webových stránkách, dochází k vytvoření nového web-socketu, který obsahuje informaci o id tlačítka, nebo výběru. Tento web-socket je poté odeslán procesoru, který na základě předepsané funkce pro čtení web-socketů dokáže přečíst příchozí id tlačítka, nebo výběru. Díky tomu je procesor schopen rozpoznat, jaké nastavení uživatel požaduje a podle toho přepsat výše zmíněnou matici, která obsahuje data o citlivosti spouště a chování zbraně v režimu Semi a Auto. Celá

komunikace probíhá v reálném čase a uživatel tak nemusí čekat na zdlouhavé nastavení. Po kliknutí na tlačítko na webových stránkách dochází téměř k okamžité změně chování zbraně.

4.5.4 Řízení spotřeby

Power management neboli řízení spotřeby je problém, na kterém přímo závisí délka jednoho cyklu baterie. V běžném režimu je odběr procesoru ESP32 140 mA a odběr senzorů dalších 10 mA. Jestliže by uživatel nechal zbraň delší dobu v nečinnosti, mohlo by dojít k výraznému poklesu napětí na baterii. Uživatel by tak přišel o potenciální výstřely a musel by dříve vyměnit baterii za nabitou.

Aby se dosáhlo nižšího odběru, dochází po prvním výstřelu k vypnutí WiFi a bluetooth. Proudový odběr procesoru se tímto sníží na 35 mA. Při dodatečném snížení frekvence procesoru nedochází k tak výrazným úsporám, jak by se dalo očekávat a střelba přestává být spolehlivá. Proto se rozhodlo nesnižovat takt procesoru a nadále pracovat s frekvencí 240 MHz. Výrazných úspor lze dosáhnout při přepnutí procesoru do některého z úsporných režimů (power saving módů). V „light sleep“ módu se odběr procesoru pohybuje kolem 2 mA. Bohužel v tomto režimu se nepodařilo dosáhnout spolehlivé střelby, a tak byl tento režim prozatím zamítnut.

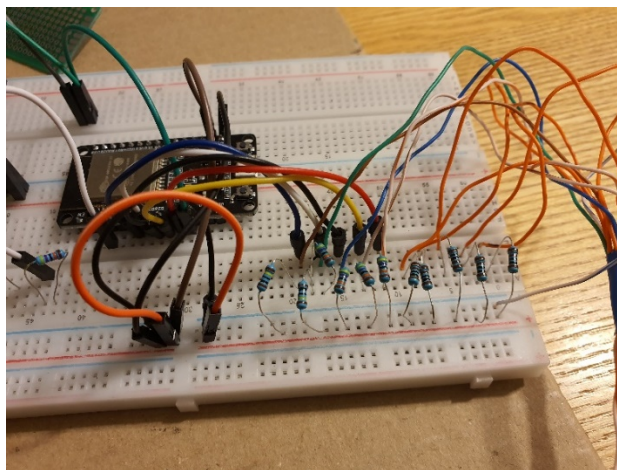
Finální odběr procesoru se senzory po prvním výstřelu činí 45 mA. Odběr proudu se tedy podařilo snížit na jednu třetinu původního odběru. WiFi lze opět zapnout šesti rychlými změnami režimu. V praxi to znamená, že při používání režimu Semi musí uživatel třikrát přepnout na režim Auto a zpět.

4.6 Vývoj prototypů

Během vytváření finálního prototypu byly vytvořeny další 3 podpůrné prototypy pro rychlejší ladění a odstranění různých chyb.

4.6.1 První prototyp

První prototyp obsahoval pouze spodní část desky plošného spoje, na které byly umístěny pouze senzory. Úkolem prvního prototypu bylo ověřit použitelnost vybraných optických senzorů a navrhnout k nim správné hodnoty rezistorů. Mimo desku plošného spoje byl vyveden tehdy ještě H-můstek, procesor, zdroj napětí pro procesor společně se senzory a všechny odpory, které bylo potřeba často měnit.

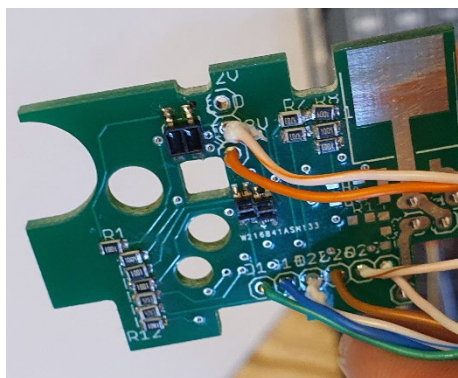


Obrázek 4.22: Nepájivé pole prvního prototypu

4.6.2 Druhý prototyp

Druhý prototyp již obsahoval na spodní desce plošného spoje společně se senzory také rezistory potřebné ke správnému fungování optických senzorů. Na nepájivém poli pak byl stále vyveden procesor, jeho zdroj napětí a také MOSFET společně s MOSFET driverem a potřebnými součástkami uvedenými v technické dokumentaci MOSFET driveru. Ochranná dioda byla napájena přímo na svorky motoru. Navržené spínání motoru se však nepodařilo uvést do provozu. Při sepnutí motoru opakovaně došlo k poškození MOSFET driveru a proražení samotného MOSFETu, který byl poté stále sepnutý. Chybu se nepodařilo odhalit vlivem omezeného domácího vybavení. Pro detailnější proměření jednotlivých komponent by bylo potřeba navštívit školní laboratoře. Ty však byly vlivem virové pandemie zavřeny. Proto se přistoupilo k výměně MOSFETu. Zvolil se MOSFET značky ICS s označením IRF3709, jehož trvalý proud může být až 90 A. Jedná se tak o nižší hodnotu trvalého proudu, než jakou umožňoval předchozí MOSFET značky Texas Instruments. Na druhou stranu MOSFET IRF3709 umožňuje rychlejší spínání větších proudů napětím 3,3 V a trvalý proud 90 A by měl být plně dostačující. Díky jeho vlastnostem jsme tak schopni poměrně spolehlivě spínat MOSFET napětím 3,3 V přímo z pinu procesoru. K takovému řešení se mohlo přistoupit díky tomu, že nedochází k regulaci otáček motoru pulsně šířkovou modulací.

U druhého prototypu jsme znovu ověřili správné rozvržení odporů a odladili spínání motoru mimo desku plošných spojů.

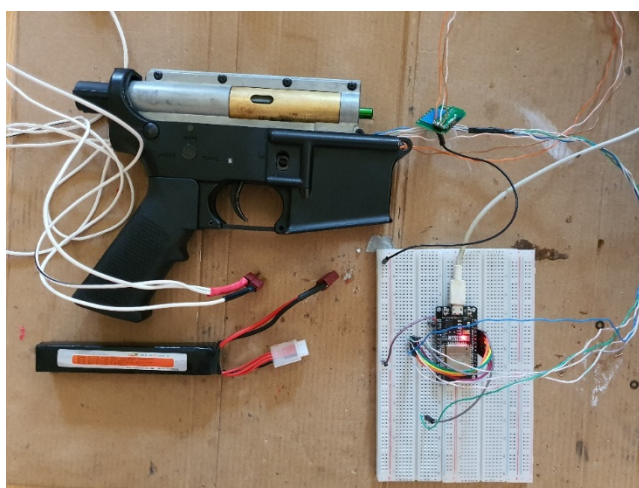


Obrázek 4.23: Spodní deska druhého prototypu

4.6.3 Třetí prototyp

U třetího prototypu došlo k přesunutí výkonové části z nepájivého pole na spodní desku plošného spoje. Vzhledem ke změnám spínání MOSFETu bylo zapotřebí tenkým drátkem propojit pin procesoru přímo s hradlem MOSFETu. Také ochranná dioda se přesunula ze svorek motoru přímo na plošný spoj. Dále byla poprvé použita vrchní deska plošného spoje. Zde byl napájen stabilizovaný zdroj napětí, který však nefungoval úplně podle představ. Na výstupu, kde mělo být napětí 3,3 V se vždy objevilo napětí o 1 V vyšší, než bylo napětí vstupní. Vzhledem k omezenému provozu školních laboratoří se rozhodlo použít již hotový stabilizovaný zdroj napětí. Ten funguje spolehlivě a na výstupu dává vždy 3,3 V. Jeho rozměry jsou velmi malé, a tak na vrchní desce plošného spoje nijak nepřekáží.

Díky třetímu prototypu se ověřilo správné zapojení výkonové části a její funkčnost přímo na desce. Na nepájivém poli zůstal pouze procesor pro možnost jednoduššího ladění softwaru.



Obrázek 4.24: Třetí prototyp implementovaný do zbraně

4.6.4 Čtvrtý prototyp

Jedná se o finální verzi řídicí jednotky airsoftové zbraně. Z nepájivého pole se naprogramovaný procesor přesunul na vrchní část desky plošného spoje, která se umístila do předpažbí zbraně. Díky tomu jsou všechny komponenty řídicí jednotky umístěny ve zbrani a ta je díky tomu plně použitelná v boji. Navíc dostává uživatel nebývalé možnosti v nastavení zbraně.



Obrázek 4.25: Procesor se stabilizovaným zdrojem napětí umístěný do předpažbí

4.7 Experimenty

Nejdříve se ověřila funkčnost komunikace webových stránek s procesorem. Ověření probíhalo nejdříve čistě softwarově. Při kliknutí na určité tlačítko procesor vypsal, jaké tlačítko bylo zmáčknuto a jaké změny provedl. Všechny tlačítka fungovaly bez problému a procesor měl přesná data o zmáčknutém tlačítku

Mohlo se tedy přistoupit k testování střelby. Nejdříve se na webových stránkách nastavil režim Auto na „auto“ a režim Semi na jednotlivé rány neboli „semi“. Dále se nastavila odezva na spoušť jako „rychlá“. Na zbrani se přepínačem střelby odjistila zbraň a přešla se z režimu Safe do režimu Semi. Zbraň pak při lehkém zmáčknutí spouště vystřelila první ránu a okamžitě došlo k odpojení telefonu od WiFi procesoru, která se v ten okamžik vypnula. Při zmáčknutí spouště do zadní polohy se chování zbraně nijak neměnilo a pokaždé došlo k výstřelu velmi brzo po zmáčknutí spouště. Při přepnutí do režimu Auto začala zbraň opět střílet velmi brzo po zmáčknutí spouště. Tentokrát však nedošlo k vystřelení pouze jedné rány, ale zbraň střílela do té doby, dokud se nevrátila spoušť zpět do výchozí polohy. Takto se ověřilo fungování střelby při nastavení na „semi“ a „auto“. Dále se ověřila velmi citlivá spoušť v režimu „rychlá“ spouště společně se

snímáním kulisy přepínače, která jasně udává, jestli se zbraň nachází v režimu Semi nebo Auto. V poslední řadě se otestovalo vypínání WiFi při prvním výstřelu.

Aby bylo možné zbraň opět přeprogramovat, bylo potřeba rychle šestkrát změnit režim střelby. K zapnutí WiFi opravdu došlo se šestým přepnutím režimu střelby. Při pokusu zapnout WiFi pomalým přepínáním režimů střelby zůstala WiFi vypnutá. Režim střelby byl přepnut pokaždé po pěti sekundách, což již nesplňuje softwarovou podmínku pro zapnutí WiFi.

Dále jsme pro režim Semi nastavili dvourannou dávku a pro režim Auto třírannou dávku. V sekci citlivost spouště jsme zvolili možnost „střední“. Po odjištění zbraně a přepnutí do režimu Semi byla zmáčknuta spoušť. Zbraň podle předpokladu vystřelila 2 rány a vypnula svou WiFi. Tentokrát však došlo k výstřelu o trochu později než v nastavení „citlivé“ spouště. Při přepnutí do režimu auto a zmáčknutí spouště došlo k výstřelu třech ran. Při opakování dvouranné a tříranné dávky občas došlo ke špatnému zaznamenání ozubeného kola a procesor tak měl špatná data o počtu vystřelených ran. Díky tomu došlo k vystřelení o jednu ránu méně nebo více, než bylo požadováno. K tomuto problému docházelo sporadicky.

Pomocí změn režimů střelby se opět zapnula WiFi a v sekci citlivost spouště se vybrala „pomalá“ odezva na spoušť. V tomto nastavení docházelo k výstřelu v nejzazší pozici spouště přesně podle očekávání. Mohlo se tedy přistoupit k testování speciálních režimů střelby. Nejdříve si bylo potřeba zvyknout na jiné chování zbraně a možnost střílet se zbraní ve dvou různých režimech pouhou změnou zmáčknutí spouště. Poté zbraň fungovala intuitivně bez jakýchkoliv problémů. Při jemném zmáčknutí došlo vždy k vystřelení jedné rány, a to u všech speciálních režimů. Při zmáčknutí spouště do zadní polohy se pak chování zbraně změnilo podle nastaveného speciálního režimu. Vždy se však zbraň chovala podle očekávání. Díky těmto nastavením jsme ověřili poslední možné konfigurace zbraně. Speciální režimy jsou dost odlišné od klasické střelby. Na netradiční chování si však uživatel zvykne velmi rychle a poté se mu už jeví jako nejlepší z možností.

4.8 Prostor pro zlepšení

Při střelbě může občas dojít k pozdějšímu nebo naopak brzkému zastavení střelby. Je to způsobeno chybou ve snímání ozubeného kola. Tomu se snaží předejít softwarové pojistky, které jasně definují, nejkratší a nejdelší dobu jednoho výstřelu. Do budoucna se bude nutné zamyslet nad jiným způsobem snímání pístového kola. Jako dobrá volba se jeví umístění infračervené diody na spodní část desky plošného spoje a naproti ní vyvést fototranzistor. Rozdíl bude tedy v tom, že nebude dioda a fototranzistor vedle sebe, ale naproti sobě. Tím by se mohlo dosáhnout ještě lepšího snímání ozubeného kola a ideálně možnosti snímat jednotlivé zuby i při rychlých otáčkách.

Nebylo by od věci, kdyby měl procesor data o napětí baterie a o proudu procházejícím motorem. Díky tomu by zbraň mohla uživatele upozornit na vybitou baterii, nebo na podezření z poškození zbraně. Na základě těchto dat by zbraň zastavila střelbu a zamezila tak podbití baterie nebo dalšímu poškození zbraně. Nyní musí uživatel

používat proudovou pojistku a při podezření na sníženou kadenci, která jasně symbolizuje vybitou baterii, baterii vyměnit. Ostatně takto se to dělá u běžných zbraní bez řídicí jednotky.

Dále by bylo ideální, kdyby se vrchní deska plošného spoje přesunula přímo do mechaboxu, jak to bylo zprvu zamýšleno. Bylo by potřeba nepoužívat hotový čip ESP32 WROOM 32U, ale na vlastní desku napájet jednotlivé komponenty čipu a rozvrhnout je tak, aby nepřekážely výstupkům umístěným na horní straně mechaboxu.

Dalším vylepšením by mohla být aktualizace firmwaru řídicí jednotky. Uživatel by zadal jméno a heslo své domácí WiFi. Procesor by se poté připojil k domácí WiFi a sám by zkontroloval, jestli neexistuje novější verze jeho firmwaru a případně by tento firmware stáhnul a nainstaloval. Díky tomu by mohli mít uživatelé vždy nejnovější firmware i ve starších jednotkách.

V poslední řadě by se chtělo zaměřit na design samotných webových stránek procesoru. S přibývajícimi možnostmi nastavení bude potřeba změnit celou strukturu nynějších stránek a udělat je co nejpřehlednější.

5 Závěr

V rešerši této práce jsou popsány již existující komerčně využívané řídicí jednotky airsoftových zbraní typu AR15. Jsou zde zmíněny jejich přednosti ale také nevýhody. Právě jejich nevýhody vedly k vytvoření tohoto prototypu.

Hlavní část práce je poté zaměřena na výběr komponent řídicí jednotky. Nejdříve bylo zapotřebí vybrat elektrické součástky pro řízení motoru a snímání pohyblivých částí airsoftové zbraně. Dále bylo potřeba vybrat procesor pro řízení chování celé zbraně. Poté následoval návrh desky plošných spojů, která obsahovala všechny potřebné komponenty a bylo možné ji umístit do zbraně typu AR15. Další nedílnou součástí realizace prototypu bylo vytvoření softwaru pro procesor.

Na závěr následuje zamyšlení nad možnými nedostatky. V době odevzdání jich není úplně málo, ale z časových důvodů nebylo možné vytvořit finální produkt, který by mohl okamžitě putovat do airsoftových prodejen.

Zjednodušeně se dá říci, že se jedná o plně funkční prototyp, který zatím nelze komerčně využít. Ke komerčnímu využití se zde nachází pár marginálních nedostatků. Těmi je například méně spolehlivé čtení cyklu střelby, přesunutí vrchní desky plošných spojů do předpažbí nebo spínání MOSFETu pinem procesoru. I přes to lze prototyp použít pro hru airsoftu bez větších obtíží. Prototyp dokonce nabízí možnosti, které žádný ze současných komerčních řídicích jednotek nenabízí. Jmenovitě to je například WiFi modul, díky kterému si může uživatel nastavit chování zbraně z jakéhokoliv zařízení bez nutnosti mít staženou aplikaci třetích stran. Také některé speciální režimy zatím žádná řídicí jednotka nenabízí. Nemluvě o zachování mechanické západky pro spoušť, která je často u novějších řídicích jednotek ze zbraně vyjmuta.

Sestavený prototyp lze považovat za dobrý základ komerčně využitelné řídicí jednotky airsoftové zbraně typu AR15. Po implementaci všech zlepšení z kapitoly 4.8 by se jednalo o plně konkurence schopnou řídicí jednotku, která bude nabízet ještě něco navíc oproti současným řídicím jednotkám.



Obrázek 5.1: Řídicí jednotka umístěna do zbraně

6 Seznam použitých zdrojů

- [1] ANNELY, Kristy. Airsoft Gun History. Streetdirectory [online]. Singapur: streetdirectory, 2013 [cit. 2020-04-27]. Dostupné z: https://www.streetdirectory.com/travel_guide/120271/technology/airsoft_gun_history.html
- [2] M933. In: Tokyo Marui [online]. Japonsko: Tokyo Marui Co., 2019 [cit. 2020-04-28]. Dostupné z: <https://www.tokyo-marui.co.jp/products/electric/standard/210>
- [3] Airsoft M4 AEG internal gearbox layout. In: Geniestuff [online]. Velká Británie: Genie Stuff Airsoft UK, 2015 [cit. 2020-04-28]. Dostupné z: <https://www.pinterest.de/pin/332773859942159666/>
- [4] Airsoft Automatic Electric Guns (AEGs). In: Defconairsoft [online]. Velká Británie: Defcon Airsoft, 2016 [cit. 2020-04-28]. Dostupné z: <https://www.defconairsoft.co.uk/airsoft-automatic-electric-guns-aegs/>
- [5] PSJ-M2 RETRO ARMS Gen.5 Bluetooth s kabeláží do předpažbí. In: Grizzlyairsoft [online]. Česká republika: Grizzly airsoft, 2018 [cit. 2020-04-28]. Dostupné z: <https://www.grizzlyairsoft.com/psj-m2-retro-arms-gen-5-bluetooth-s-kabelazi-do-predpazbi-p157>
- [6] Leviathan - V2 do pažby. In: Jefftron [online]. Česká republika: Jefftron, 2019 [cit. 2020-04-28]. Dostupné z: <https://www.jefftron.cz/leviathan/leviathan-v2>
- [7] Perun V2 Optical. In: Perunairsoft [online]. Polsko: Perun, 2019 [cit. 2020-04-28]. Dostupné z: <http://perunairsoft.pl/products/perun-v2-optical/>
- [8] TITAN™. In: Gatee [online]. Polsko: GATE Enterprise Sp. z o.o. Sp. k., 2019 [cit. 2020-04-28]. Dostupné z: <https://www.gatee.eu/titan>
- [9] M., Luboš. Vývojová deska ESP32. Navody.arduino-shop [online]. Česká republika: ECLIPSE s.r.o, 2017 [cit. 2020-04-28]. Dostupné z: <https://navody.arduino-shop.cz/navody-k-produktum/vyvojova-deska-esp32.html>

Seznam obrázků

Obrázek 1.1: Elektrická airsoftová zbraň (AEG) značky Tokyo Marui – firmy která vymyslela AEG [2]	8
Obrázek 2.1: Popis komponent AEG [3]	9
Obrázek 2.2: Pohyb trysky a kuličky [4]	10
Obrázek 2.3: Řídící jednotka od Grizzly-Airsoft ve zbrani společně s pístovým kolem [5]	11
Obrázek 2.4: Řídící jednotka Leviathan ve zbrani a) složená, b) rozložená [6]	12
Obrázek 2.5: Řídící jednotka Perun V2 Optical rozložená [7]	12
Obrázek 2.6: Řídící jednotka Gate Titan [8]	13
Obrázek 4.1: Optický senzor ozubeného kola a) odkrytý, b) zakrytý	16
Obrázek 4.2: Optický senzor spouště a) odkrytý, b) zakrytý	16
Obrázek 4.3: Optický senzor kulisy přepínače, režim a) Semi, b) Auto	17
Obrázek 4.4: Programování čipu ESP32	18
Obrázek 4.5: Ovládání motoru zbraně pomocí H-můstku BTS7960B	19
Obrázek 4.6: MOSFET CSD18511KTT umístěný na DPS	19
Obrázek 4.7: Návrh zkušební desky plošných spojů	20
Obrázek 4.8: Zkušební deska plošných spojů a) Přední část b) Zadní část	21
Obrázek 4.9: Dvě desky plošných spojů spojené pevnými kontakty	22
Obrázek 4.10: Rozložení komponent na spodní desce	23
Obrázek 4.11: Rozložení komponent na vrchní desce	24
Obrázek 4.12: Schéma spodní desky plošných spojů	24
Obrázek 4.13: Schéma vrchní desky plošných spojů	25
Obrázek 4.14: Blokové schéma systému	26
Obrázek 4.15: Pístové kolo a) nepůsobící, b) působící na píst	27
Obrázek 4.16: Hodnoty při překrývání senzorů	28
Obrázek 4.17: Možnosti nastavení chování jednotlivých režimů střelby	30
Obrázek 4.18: První dva řádky matice (nastavení režimů střelby)	30
Obrázek 4.19: Třetí řádek matice (nastavení citlivosti spouště)	30
Obrázek 4.20: Speciální režimy střelby	31
Obrázek 4.21: Webové stránky procesoru	32
Obrázek 4.22: Nepájivé pole prvního prototypu	34
Obrázek 4.23: Spodní deska druhého prototypu	35
Obrázek 4.24: Třetí prototyp implementovaný do zbraně	35
Obrázek 4.25: Procesor se stabilizovaným zdrojem napětí umístěný do předpažbí	36
Obrázek 5.1: Řídící jednotka umístěna do zbraně	39